

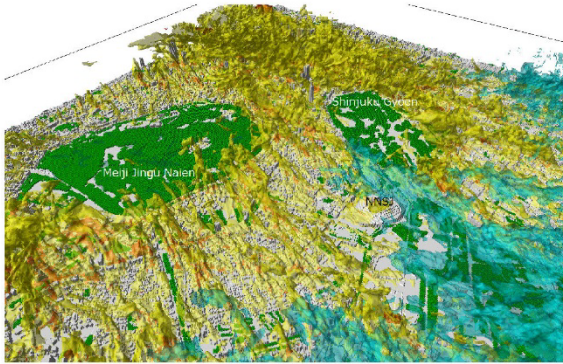


Fig. 5: Isosurface of potential temperature at 12:30 for Case2; red, 309.0K; yellow, 307.5K; cyan, 305.9K.

地を通過した風が流入している。同様の傾向は Case3 の温位の等値面においても確認された。

4.2 新国立競技場周辺の風の流れ、気温および湿度

図 6 に、新国立競技場敷地内において 12:20 から 12:30 までの 10 分間の時間平均の風の流れを示す。なお、新国立競技場の周囲の敷地内のみを図示しており、内部の白抜き部分は競技場建物の本体の位置である。なお、Case2 では人工地盤を建設するため敷地範囲が Case3 よりも広がっている。計算領域への流入風の風向きが東北東であるため、新国立競技場には東から風が吹き付け、競技場の周囲を回り込むように流れている。また、Case3 では Case2 に比べて風が弱まっている。これは、Case2 では新国立競技場の周囲が開けているが、Case3 では抵抗となる樹木が一面に植わっていることに起因する。

図 7 および 8 に、それぞれ新国立競技場敷地内の気温 T_{air} および相対湿度 Rh の分布を示す。図 6 と同様に、数値は 12:20 から 12:30 までの 10 分間の時間平均値である。また、表 1 に気温、湿度およびその他の温度指標の敷地内平均値、最大値および最小値を示す。図 7 の気温 T_{air} の分布では、Case2 において競技場の南西方向に高温の箇所が見られる。これは、地表面のアスファルトだけでなく、競技場側面が日射によって高温になることに起因する。一方、Case3 では、樹木の蒸散効果や日陰効果により、Case2 に比べて 0.5°C 以上低温の領域が広がっている。敷地内平均値では Case3 の方が約 0.5°C 、局所的には最大で約 2.1°C 低い。図 8 の相対湿度 Rh の分布では、気温の高い場所ほど相対湿度が低い傾向が見られる。これは、飽和水蒸気量の温度依存性に起因している。そのため、Case3 の比較的気温が低い場所では、Case2 に比べて相対湿度が高い。ただし、Case3 では、Case2 に比べて樹木が多いため、蒸散効果によって水蒸気の絶対量も増加している。図には示していないが、Case3 の競技場の南西方向の相対湿度が比較的高い場所では、水蒸気の絶対量が Case2 よりも多くなっていることを確認している。しかし、Case3 と Case2 の相対湿度の差は、最大でも 7% 程度である。

4.3 暑さ指数 (WBGT 指数)

人が感じる暑さは、気温と湿度だけでなく、日射や周囲の高温の地表面や壁面からの赤外放射の強度にも依存する。そこで、人の感じる暑さについて検討するために、暑さ指数 (Wet-Bulb Globe Temperature index, WBGT index) を算出した。暑さ指数は、過酷な熱環境における熱中症リスクを評価するための指標として用いられており、気温 (乾球温度) T_{air} 、湿球温度 T_{wb} 、および黒球温度 T_{globe} を用いて算出される。黒球温度 T_{globe} は、グローブ球 (黒球) を用いて測定される温度指標であり、周囲から受ける放射熱フラックスとグローブ球周りの対流熱伝達 (放熱) のバランスによって決まる。本研究では、3 次元放射モデルにより得られた各地表面や壁面からの

放射熱フラックスと、気温および風速のデータを用いて、黒球の熱収支式を解くことにより地上高さ 1.1m での黒球温度を算出した。暑さ指数の計算式は、日射の当たる場所と当たらない場所で異なる。“屋内または屋外の日射の当たらない場所”および“屋外の日射の当たる場所”の暑さ指数をそれぞれ $WBGT_{shadow}$ および $WBGT_{sun}$ とすると、これらは以下の式によって算出される。

$$WBGT_{shadow} = 0.7T_{wb} + 0.3T_{globe} \quad (10)$$

$$WBGT_{sun} = 0.7T_{wb} + 0.2T_{globe} + 0.1T_{air} \quad (11)$$

本研究では、日陰率 σ を用いて次式により WBGT を定義した。

$$WBGT = \sigma WBGT_{shadow} + (1 - \sigma) WBGT_{sun} \quad (12)$$

図 9 に暑さ指数の分布を示す。Case3 では、Case2 に比べて暑さ指数が 1°C 以上低い領域が敷地内の大部分を占めており、暑熱環境が改善されていることがわかる。敷地内平均値でも Case3 の方が約 1.0°C 低く、局所的には最大で約 4.6°C の低下が見られる。なお、局所的には暑さ指数が上昇した場所もあり、最大で 3.3°C に達している。これは Case2 に比べて風速が低下したこと、沿道から気温の高い風が流入したこと、地表面の芝生がなくなったこと、および樹木が移動したことに起因している。表 1 に示した湿球温度 T_{wb} と黒球温度 T_{globe} の差より、この 2 ケースの場合には黒球温度 T_{globe} が暑さ指数に大きな影響を及ぼしていることがわかる。したがって、樹木による日射の遮蔽、その日陰による地表面および壁面温度の上昇の抑制、および蒸散効果による樹冠下部の葉面温度の上昇の抑制が、Case3 における暑さ指数改善の主要因であると考えられる。

5. 結言

3 次元放射モデルおよび樹冠解像樹木モデルを実装した大気海洋結合数値モデル MSSG を用いて、明治神宮外苑周辺 5km 四方を対象とする非定常数値シミュレーションを実施し、新国立競技場建設後の熱環境の解析を行った。新国立競技場の周囲については JSC (日本スポーツ振興センター) 現行案と、敷地内の樹冠の水平投影面積率が 60% 程度となるように樹木を植えた JSC 修正案を設定し、比較を行った。その結果、JSC 修正案では、競技場の周囲の気温が JSC 現行案より平均 0.5°C 、最大 2.1°C 程度低くなり得ることが明らかになった。また、3 次元放射モデルにより得られた放射フラックスを用いて暑さ指数 (WBGT 指数) の評価を行った。その結果、JSC 修正案では、競技場の周囲の暑さ指数が JSC 現行案より平均 1.0°C 、最大 4.6°C 程度低くなり得ることが明らかになった。

謝辞

本研究の数値シミュレーションは、(独) 海洋研究開発機構の地球シミュレータ 2、SGI ICE-X システムおよび SGI UV システムを用いて行われた。また、本研究を行うにあたり、気候変動適応研究推進プログラム (RECCA) の支援を受けた。

参考文献

- (1) 独立行政法人 日本スポーツ振興センター, “資料 2 新国立競技場基本設計図 (案),” 第 5 回国立競技場将来構想有識者会議 (2014).
- (2) Saito, I. et al., “Study of the Effect of Green Areas on the Thermal Environment in an Urban area,” *Energy Build.*, 15-16 (1990/91), pp. 493-498.
- (3) Vu, T. C. et al., “Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park,” *Energy Build.*, 29 (1998), pp. 83-92.